

Meth d and device for treating substrates in a vacuum

Patent number: DE3633386

Publication date: 1988-04-14

Inventor: ENKE KNUT DR (DE); GRUENWALD HEINRICH DIPL CHEM (DE); HUSSLA INGO DIPL DR (DE); LORENZ GERHARD DIPL CHEM (DE)

Applicant: LEYBOLD AG (DE)

Classification:

- International: C23C14/28

- european: C23C14/54B; H01J37/32D2

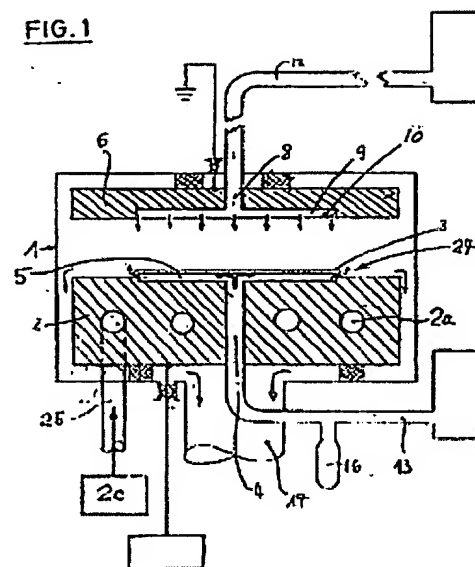
Application number: DE19863633386 19861001

Priority number(s): DE19863633386 19861001

Abstract of DE3633386

In the process and device for treating substrates (3) in a vacuum between 100 and 10^{-3} mbar by means of particles excited by optical or electrical effects, such as ions, free radicals, atoms and molecules, with continuous feeding of at least one process gas providing the particles, in particular for ion etching, the substrates (3) are arranged on a temperature-controlled substrate holder (2). For the purpose of heat exchange, there is a gas on the back of the substrate (3). In order to obtain both a uniform temperature and a uniform treatment over the entire substrate surface, process gas is admitted at a preset supply rate to the back of each substrate (3). After heat exchange with a particular substrate (3) and substrate holder (2), the gas is admitted into the process space (1) in the edge region of the substrate (3).

FIG. 1



①⑨ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

①⑪ **Offenlegungsschrift**
DE 3633386 A1

⑤① Int. Cl. 4:
C23C 14/28

②① Aktenzeichen: P 36 33 386.7
②② Anmeldetag: 1. 10. 86
②③ Offenlegungstag: 14. 4. 88

Behörden Eigentum

DE 3633386 A1

⑦① Anmelder:
Leybold AG, 6450 Hanau, DE

⑦② Erfinder:
Enke, Knut, Dr., 8752 Johannesburg, DE; Grünwald,
Heinrich, Dipl.-Chem.; Hussla, Ingo, Dipl.-Chem. Dr.,
6450 Hanau, DE; Lorenz, Gerhard, Dipl.-Chem., 8755
Alzenau, DE

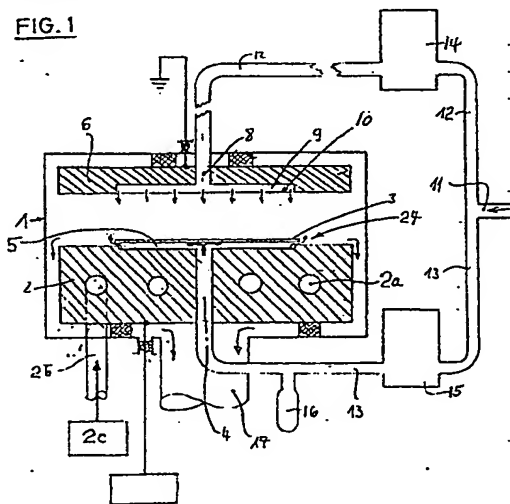
⑤⑤ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

US 45 65 601
US 37 21 210

⑤④ Verfahren und Vorrichtung zum Behandeln von Substraten im Vakuum

Verfahren und Vorrichtung zum Behandeln von Substraten (3) im Vakuum zwischen 100 und 10^{-3} mbar mittels durch optische oder elektrische Einflüsse angeregter Teilchen wie Ionen, Radikale, Atome und Moleküle unter laufender Zufuhr mindestens eines die Teilchen liefernden Prozeßgases, insbesondere zum Ionenätzen. Dabei sind die Substrate (3) auf einem temperaturgeregelten Substrathalter (2) angeordnet. Zum Zwecke eines Wärmeaustauschs befindet sich ein Gas auf der Rückseite der Substrate (3). Um sowohl eine gleichmäßige Temperierung als auch eine gleichmäßige Behandlung über die gesamte Substratoberfläche zu erhalten, wird auf der Rückseite eines jeden Substrats (3) Prozeßgas mit einer vorgegebenen Lieferrate eingelassen. Nach Wärmeaustausch mit dem jeweiligen Substrat (3) und dem Substrathalter (2) wird das Gas im Randbereich des Substrats (3) in den Prozeßraum (1) eingelassen.

FIG. 1



DE 3633386 A1

Patentansprüche

1. Verfahren zum Behandeln von Substraten im Vakuum zwischen 100 und 10^{-3} mbar mittels durch optische oder elektrische Einflüsse angeregter Teilchen wie Ionen, Radikale, Atome und Moleküle unter laufender Zufuhr mindestens eines die Teilchen liefernden Prozeßgases, insbesondere zum Ionenätzen, wobei die Substrate auf einem temperaturgeregelten Substrathalter angeordnet sind und sich zum Zwecke eines Wärmeaustauschs ein Gas auf der Rückseite der Substrate befindet, dadurch gekennzeichnet, daß auf der Rückseite eines jeden Substrats Prozeßgas mit einer vorgegebenen Lieferrate eingelassen wird, welches nach Wärmeaustausch mit dem jeweiligen Substrat und dem Substrathalter im Randbereich des Substrats in den Prozeßraum eingelassen wird.

2. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 mit einer Prozeßkammer, einer Evakuierungseinrichtung, einem Substrathalter mit einer Temperaturregelanordnung und mindestens einer Aufnahmevorrichtung für ein Substrat, und mit mindestens einer Einlaßvorrichtung für das Prozeßgas, wobei im Substrathalter auf der Rückseite des Substrats eine Gaszuleitung angeordnet ist, dadurch gekennzeichnet, daß im Randbereich eines jeden Substrats (3) mindestens eine in die Prozeßkammer (1) mündende Austrittsöffnung (24) für ein aus einer Gasquelle stammendes Prozeßgas angeordnet ist und daß die Gaszuleitung (11) zur Rückseite des Substrats (3) an die Gasquelle für das Prozeßgas angeschlossen ist.

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Behandeln von Substraten im Vakuum zwischen 100 und 10^{-3} mbar mittels durch optische oder elektrische Einflüsse angeregter Teilchen wie Ionen, Radikale, Atome und Moleküle unter laufender Zufuhr mindestens eines die Teilchen liefernden Prozeßgases, insbesondere zum Ionenätzen, wobei die Substrate auf einem temperaturgeregelten Substrathalter angeordnet sind und sich zum Zwecke eines Wärmeaustauschs ein Gas auf der Rückseite der Substrate befindet.

Die optische oder elektrische Anregung kann dabei beispielhaft durch Laserstrahlen oder UV-Licht mit einer jeweils geeigneten Wellenlänge erfolgen, oder durch eine elektrische Niedertemperatur-Plasmaentladung, die mittels Gleichspannung, Wechselspannung oder Hochfrequenz angeregt ist, oder durch Ionen- und/oder Elektronenstrahl.

Eine wesentliche Rolle spielt hierbei die Wärmeübertragung zwischen dem Substrat und dem Substrathalter, wobei es einerseits erforderlich ist, zunächst einmal das Substrat auf eine für die Behandlung geeignete Temperatur zu bringen, andererseits aber auch, das Substrat auf dieser Temperatur zu halten. Der Behandlungsprozeß selbst hat in den meisten Fällen einen merklichen Energiefluß zum Substrat zur Folge, dem durch eine Temperaturregelung des Substrathalters entgegengewirkt werden muß.

Moderne, "trocken", d.h. im Vakuum durchgeführte Dünnschichtprozesse, wie sie vor allem in der Halbleiterfertigung angewendet werden, erfordern die genaue Kontrolle der Temperatur. Bei Ätzprozessen wie PE ("Plasma Etching"), RIE ("Reactive Ion Etching"), MRE

("Magnetic-Confinement Reactive Ion Etching"), Triode Etching, CALBE ("Chemically Assisted Ion Beam Etching") oder Photon Assisted Etching (Bezeichnungen nach: S.J. Fonash, Solid State Technol., Jan. 1985, Seiten 150 bis 158) ist in der Regel Kühlung notwendig, um Halbleitersubstrate und auf ihnen aufgetragene Schichten, wie z.B. Fotolacke, vor Schäden zu bewahren.

Dagegen ist bei Beschichtungsprozessen wie PECVD ("Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition"), Laser induzierter CVD ("Chemical Vapour Deposition") oder der Plasma-Polymerisation häufig eine definierte Beheizung der Substrate erforderlich. An die Einheitlichkeit der Ätzung bzw. der Beschichtung über die gesamte Substratfläche hinweg bestehen wachsende Anforderungen.

Stand der Technik

Allgemein wird der Substrathalter zur Temperierung mit Flüssigkeiten wie Wasser oder speziellen Ölen durchspült. Die Wärmeübertragung zwischen Substrat und Substrathalter wird allerdings durch den Spalt dazwischen behindert. Es wurden deshalb folgende Verbesserungen vorgeschlagen:

— Anpressen (E.J. Egerton, A. Nef, W. Millikin, W. Cook, D. Baril, Solid State Technol. August 1982, Seiten 84 bis 87) des Substrats an die Substratauflage mittels eines Rings oder mehrerer Klammern, wobei der Wärmeübergang durch eine dünne Zwischenlage aus einem Elastomeren verbessert werden kann (M.E. Mack, New Electronics, 17 (11), Seiten 48 bis 51, (1984); US-Patent 42 82 924).

— Anpressen des Substrats durch elektrostatische Anziehung zwischen Substrat und einem hiervon elektrisch isolierten Substrathalter (US-PS 43 99 016).

— Auffüllen des Spaltes zwischen Substrat und Substrathalter mit einem flüssigen Metall (US-PS 41 29 881) oder einem nicht näher bezeichneten Gas (US-PS 45 27 620 und US-PS 45 35 834), einem Gas mit hoher Wärmeleitfähigkeit wie Stickstoff, Neon, Helium oder Wasserstoff (US-PS 45 14 636, US-PS 42 61 762, EP-OS 00 25 670) oder Luft (M. Sieradzki, Nucl. Instr. Meth. in Phys. Res. B 6, Seiten 237 bis 242 (1985)).

Unter diesen Verfahrensweisen hat sich das Auffüllen mit einem Gas, üblicherweise Helium, wegen seiner wirksamen Wärmeübertragung am besten bewährt. Unerwünscht ist jedoch ein möglicher Übertritt des wärmeübertragenden Gases in die Prozeßkammer, wodurch das Produktionsergebnis empfindlich beeinträchtigt werden kann. Um dies zu verhindern, muß der konstruktive Aufwand erhöht werden.

Die Gleichmäßigkeit der Behandlung mit o.g. Dünnschichtverfahren über die Substratfläche hinweg hängt neben der Gleichmäßigkeit der Temperatur auch von der Homogenität der Prozeßgaskonzentration über den Substraten ab.

Hierzu werden gegenwärtig überwiegend der Substrathalter gegenüberliegende, duschkopffartige Prozeßgaseinlässe verwendet (A. Chambers, S. Kew, Res. Devel., Mai 1986, Seiten 108 bis 112). Bei den üblicherweise in der Ebene der Substrate konzentrisch um die Substrate angeordneten Absaugöffnungen läßt sich nicht verhindern, daß Inhomogenitäten in der Prozeßgaskonzentration nahe der oder den Absaugöffnungen

aufzutreten. Es wird über eine konstruktiv allerdings aufwendige Anordnung der Absaugöffnungen zwischen den Löchern eines duschkopffartigen Prozeßgaseinlasses berichtet, wodurch Inhomogenitäten der Prozeßgaskonzentration vermieden werden sollen (K. Donohoe in "Plasma Processing" (Hrsg. J. Dieleman, R.G. Freiser, G.S. Mathad), Electrochem. Soc. Proc., PV 82 — 6, Seiten 306 bis 317 (1982)).

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs beschriebenen Gattung anzugeben, bei dem sowohl eine gleichmäßige Temperierung der Substrate als auch eine gleichmäßige Behandlung über die gesamte Substratfläche ermöglicht wird.

Die Lösung der gestellten Aufgabe erfolgt bei dem eingangs beschriebenen Verfahren erfindungsgemäß dadurch, daß auf der Rückseite eines jeden Substrats Prozeßgas mit einer vorgegebenen Lieferrate eingelassen wird, welches nach Wärmeaustausch mit dem jeweiligen Substrat und dem Substrathalter im Randbereich des Substrats in den Prozeßraum eingelassen wird.

Bei der erfindungsgemäßen Lösung spielt das Prozeßgas eine doppelte Rolle: Einmal fördert das Prozeßgas einen intensiven Wärmeaustausch zwischen dem Substrat und dem Substrathalter, zum andern steht es in unmittelbarer Nähe des Substrates, nämlich zunächst am Substratrand in genau dosierter Menge (Lieferrate) zur Verfügung, um die üblicherweise durch den Behandlungsprozeß bedingte Verarmung des Gases an Reaktionskomponenten zu kompensieren. Vor allem aber entfällt durch den gezielten Einsatz des Prozeßgases die ansonsten notwendige Abdichtung zwischen dem Substrat und dem Substrathalter und ferner der Aufwand für eine getrennte Kühlgasversorgung. Dadurch, daß die Rückseite und die Vorderseite des Substrats — abgesehen von geringen Strömungsverlusten — mit dem Inneren der Prozeßkammer in Verbindung stehen, kann sich auch keine unliebsame Druckdifferenz zwischen beiden Seiten des Substrates aufbauen, die zu einer Verformung des Substrates führen würde, wie beim Stand der Technik.

Als Prozeßgase kommen beispielsweise Argon, gegebenenfalls auch im Gemisch mit anderen Edelgasen, Stickstoff, Sauerstoff etc. in Frage. Es stellte sich jedoch überraschend heraus, daß auch andere als die vorstehend genannten Gase, z.B. folgende vor allem zur Halbleiterfertigung verwendete Prozeßgase und -Dämpfe wie Silan, Disilan, Dichlorsilan, Siliziumtetrachlorid, Arsin, Phosphan, Bortrichlorid, Chlor, Trimethylgallium, Trimethylaluminium, Trimethylphosphan, Tetrafluormethan, Schwefelhexafluorid, Trifluormethan, Stickstofftrifluorid, Hexafluorethan, Brom, Monobromfluormethan, Monofluortrichlormethan, Trichlormethan, Perfluorpropan, Tetrafluormethan, Ammoniak, Dichlordifluormethan zur Wärmeübertragung zwischen den Substraten und dem Substrathalter verwendet werden können.

Weiter stellte sich heraus, daß die Erfindung die Herstellung einer weitgehend homogenen Konzentration des Prozeßgases oder -gasgemischs über dem Substrat ermöglicht, wodurch die Gleichmäßigkeit des jeweiligen Behandlungsprozesses verbessert werden kann.

Die Erfindung betrifft auch eine Vorrichtung zur Durchführung des genannten Verfahrens mit einer Prozeßkammer, einer Evakuierungseinrichtung, einem Substrathalter mit einer Temperaturregelanordnung und mindestens einer Aufnahmevorrichtung für ein Substrat, und mit mindestens einer Einlaßvorrichtung für das Prozeßgas, wobei im Substrathalter auf der Rückseite des Substrats eine Gaszuleitung angeordnet ist.

Zur Lösung im wesentlichen der gleichen Aufgabe wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, daß im Randbereich eines jeden Substrats mindestens eine in die Prozeßkammer mündende Austrittsöffnung für ein aus einer Gasquelle stammendes Prozeßgas angeordnet ist und daß die Gaszuleitung auf der Rückseite des Substrats an die Gasquelle für das Prozeßgas angeschlossen ist.

Ein Ausführungsbeispiel des Erfindungsgegenstandes wird nachfolgend anhand der Fig. 1 bis 5 näher erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1 einen Vertikalschnitt durch eine Vorrichtung zur Behandlung eines Substrats mittels eines plasma-gestützten Ätzprozesses,

Fig. 2 einen Ausschnitt aus Fig. 1 mit einer Modifikation des Gasverteilungssystems,

Fig. 3 ein Diagramm mit drei Kurven zur Erläuterung des Kühleffekts des Erfindungsgegenstandes,

Fig. 4 eine weitere Variante des Substrathalters, in dessen Oberfläche das Substrat eingelassen ist und

Fig. 5 eine wiederum weitere Variante des Substrathalters, auf dessen Oberfläche das Substrat unter Verwendung von Abstandhaltern aufgesetzt ist.

In Fig. 1 ist eine Prozeßkammer 1 dargestellt, die als Vakuum-Rezipient ausgebildet ist und in der übereinander zwei Elektroden angeordnet sind. Die untere Elektrode dient gleichzeitig als Substrathalter 2 für ein Substrat 3. Sie ist mit Kanälen 2a zur Durchleitung eines strömenden Mediums versehen, das über eine Zuleitung 2b von einer Temperaturregelanordnung 2c zugeführt wird. Eine Rückleitung ist zwar vorhanden, der Einfachheit halber aber nicht dargestellt. In der Temperaturregelanordnung 2c wird das strömende Medium auf einer Temperatur gehalten, die eine Einhaltung des Temperaturniveaus des Substrats 3 ermöglicht.

In der Mitte des Substrathalters 2 befindet sich eine Bohrung 4, die in eine in die Katodenoberfläche eingelassene Vertiefung 5 mündet. Die obere Elektrode 6 enthält ebenfalls eine Bohrung 8 und eine eingelassene Vertiefung 9, die mit einer mehrfach durchbohrten Platte 10 nach unten hin abgedeckt ist. Die Anzahl der Löcher kann zwischen fünf und eintausend, vorteilhaft zwischen zwanzig und einhundert, betragen, wobei der Durchmesser der einzelnen Löcher zwischen 0,1 und 2 mm, vorzugsweise zwischen 0,2 und 0,5 mm liegt. Die Zufuhr des Prozeßgases, das auch ein Gasgemisch sein kann, erfolgt über eine Gaszuleitung 11, die sich in je ein Teilstück 12 bzw. 13 verzweigt. Die Durchflußraten der durch die Teilstücke 12 bzw. 13 strömenden Gas mengen werden durch Mengenregler 14 bzw. 15 auf konstante Werte geregelt. Der aus dem Teilstück 12 kommende Gasstrom wird über die Bohrung 8 durch die durchbohrte Platte 10 hindurch in den Vakuumrezipienten eingeleitet. In analoger Weise wird der durch das Teilstück 13 fließende Gasstrom über die Bohrung 4 unter dem Substrat 3 hindurch in die Prozeßkammer 1 eingeleitet.

Der Druck des Prozeßgases im Teilstück 13 wird von einem Druckmeßgerät 16 gemessen und angezeigt. Die Abgase des Prozesses werden durch eine Saugleitung 17 abgeführt, die zu einem hier nicht gezeigten Vakuum-Pumpsatz führt.

Wichtige Parameter sind der Druck im Teilstück 13 und das Verhältnis der Durchflußraten der durch die Teilstücke 12 und 13 fließenden Gasströme. Während einerseits die Wärmeübertragung des Gases umso wirksamer ist, je höher der Gasdruck ist, besteht bei einem

zu hohen Druck hinter dem Substrat 3 die Gefahr, daß leichte Substrate (z.B. Silizium-Wafer) vom Substrathalter abgehoben werden und verrutschen. Der anwendbare Druck liegt bei einem Silizium-Wafer von 3 Zoll Durchmesser zwischen 1 und 8, vorzugsweise zwischen 2 und 4 mbar.

Das Verhältnis der Durchflußraten des Prozeßgases durch die Teilstücke 12 und 13 beeinflusst die relativen Konzentrationen des Prozeßgases in der Mitte und am Rand des Substrats. Bei optimalem Verhältnis der anteiligen Durchflußraten ist die Konzentration des Prozeßgases über die Oberfläche praktisch homogen.

Fig. 2 zeigt zwischen dem Substrathalter 2 und dem Substrat 3 eine mehrfach durchbohrte Platte 18, die zur Ausbildung einer vorgegebenen Gasverteilung dient. Die Platte 18 kann zwischen 4 und 100 Löcher aufweisen, vorzugsweise zwischen 6 und 20 Löcher, wobei der Durchmesser zwischen 0,2 und 2 mm liegt.

In Fig. 3 ist auf der Abszisse die Zeit in Minuten dargestellt, auf der Ordinate die Temperatur in °C. Die Kurven A und B zeigen das frühzeitige Erreichen einer relativ niedrigen Beharrungstemperatur bei Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens; die Kurve C zeigt das sehr viel spätere Erreichen der auf einem wesentlich höheren Niveau liegenden Beharrungstemperatur für den Fall, daß sich auf der Rückseite des Substrats Vakuum befindet.

Der Substrathalter 2 nach Fig. 4 zeigt eine etwa kreisförmige Vertiefung 19, von der am Rand radiale Ausfräsungen 20 ausgehen, die zum Gasdurchtritt dienen. Zwischen den Ausfräsungen 20 befinden sich radiale Stege 21 mit einem stufenförmigen Absatz, in dem das Substrat 3 radial zentriert gelagert ist, so daß sich die Strömung des Prozeßgases gleichmäßig auf den Umfang des Substrats 3 verteilt.

Die Austrittsöffnung ist entweder ein kreisförmig geschlossener Ringspalt oder eine kreisförmige Aneinanderreihung von einzelnen, durch die Stege 21 oder die Abstandshalter 22 getrennten Spaltsektoren.

Fig. 5 zeigt eine analoge Anordnung eines Substrathalters 2, bei dem an die Stelle der Stege 21 Abstandshalter 22 getreten sind, die gleichfalls einen stufenförmigen Absatz 23 aufweisen, die das Substrat 3 in einer zur Bohrung 4 konzentrischen Lage halten.

Es ist beachtlich, daß bei einem Substrathalter, der für die gleichzeitige Behandlung mehrerer Substrate ausgerüstet ist, jedes Substrat eine eigene Gaszuleitung und mindestens eine eigene Austrittsöffnung 24 für das Prozeßgas aufweist. Die in den Figuren nicht gezeigte Gasquelle für das Prozeßgas ist an die Gaszuleitung 11 angeschlossen.

Beispiel

Ein SiO₂-beschichteter, mit strukturiertem Photolack überzogener Silizium-Wafer wird als Substrat 3 in eine Anordnung nach Fig. 1 einer sogenannten "RIE"-Behandlung ("Reactive Ion Etching" = Reaktives Ionenätzen) wie folgt unterzogen: Der Silizium-Wafer wird, wie in Fig. 1 dargestellt, auf dem Substrathalter 2 plaziert. Die Prozeßkammer wird mittels einer ebenfalls nicht abgebildeten Pumpe evakuiert, und durch die Bohrungen 8 und 4 wird ein Gemisch aus 90% CHF₃ und 10% O₂ eingelassen. Die Gesamtdurchflußrate beträgt 20 cm³/min, das Verhältnis der Durchflußraten durch die Teilstücke 12 und 13 hat den Wert von 10.

Der Druck im Teilstück 13, gemessen mit dem Vakuum-Meßgerät 16 beträgt 500 Pa (= 5 mbar). Mittels

eines nicht abgebildeten Drosselventils wird die Saugleistung der Pumpe so geregelt, daß sich in der Prozeßkammer ein Druck von 5 Pa (= 0,05 mbar) einstellt. Der Substrathalter wird mit fließendem Wasser mit einer Temperatur von 13°C gekühlt und 10 Minuten lang an einen HF-Generator erzeugte, hochfrequente Wechselspannung von 13,56 MHz gelegt. Die obere Elektrode 6 ist geerdet. Hierdurch wird zwischen den Elektroden ein Plasma gezündet, unter dessen Einwirkung die SiO₂-Schicht auf dem Substrat geätzt wird. Bei einer vom HF-Generator abgegebenen Leistung von 430 W baut sich am Substrathalter 2 eine Gleichspannung von -250 V gegenüber Masse auf. Unter der Einwirkung des Plasmas heizt sich das Substrat 3 auf. In Fig. 3 ist die Temperatur des Substrats, gemessen mit einem fiberoptischen Thermometer "LUXTRON", in Abhängigkeit von der Zeit wiedergegeben. Das Substrat heizt sich innerhalb von 10 Minuten auf eine Temperatur von ca. 96°C auf (Kurve B). Die Abweichungen der Ätztiefe über die Substratoberfläche sind kleiner als 3%. Wird unter sonst gleichen Bedingungen wie oben statt des Prozeßgasgemischs Helium durch die Bohrung 4 eingelassen, so erreicht das Substrat eine Endtemperatur von 94°C (Kurve A). Die Abweichungen der Ätztiefe über die Substratoberfläche betragen bis zu 5%. Befindet sich das Teilstück 13 dagegen unter Vakuum, so erreicht das Substrat eine Endtemperatur von 120°C (Kurve C). Die Abweichungen in der Ätztiefe liegen bei 5%.

3633386

FIG. 3

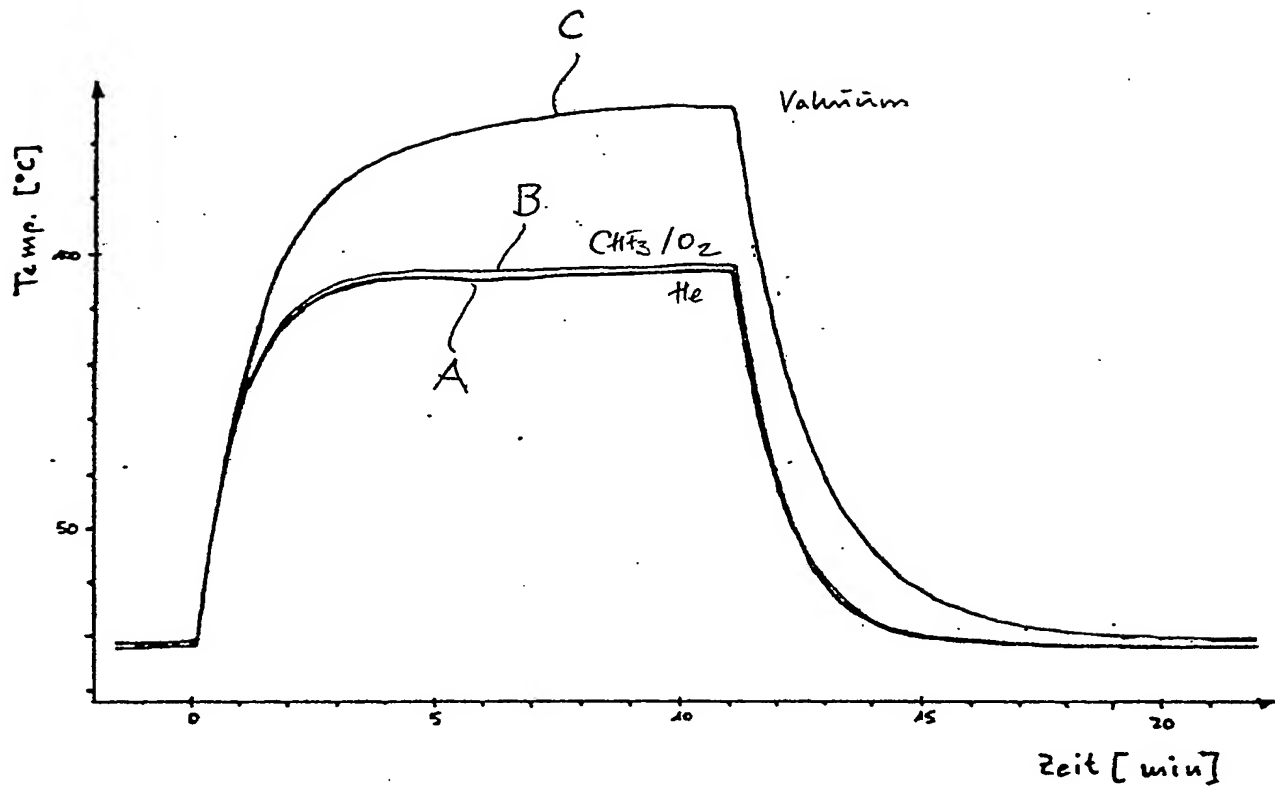


FIG. 4

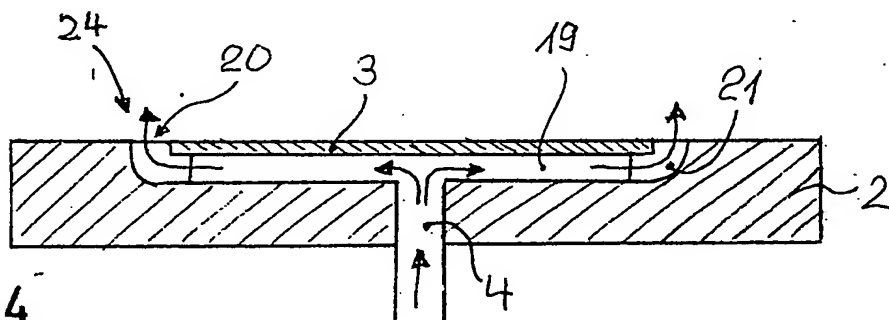
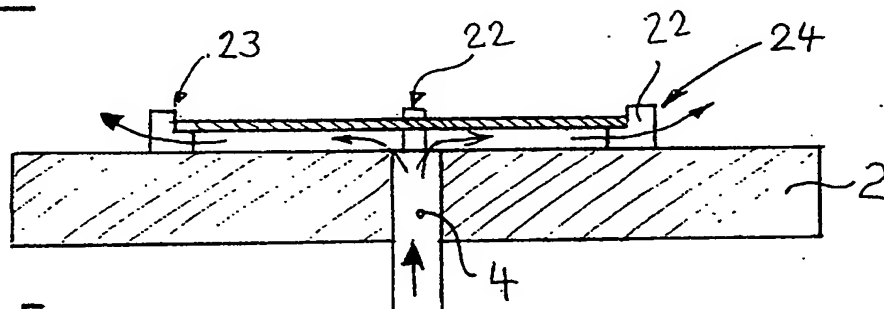


FIG. 5



3633386

Nummer:
Int. Cl.4:
Anmeldetag:
Offenlegungstag:

36 33 386
C 23 C 14/28
1. Oktober 1986
14. April 1988

FIG. 1

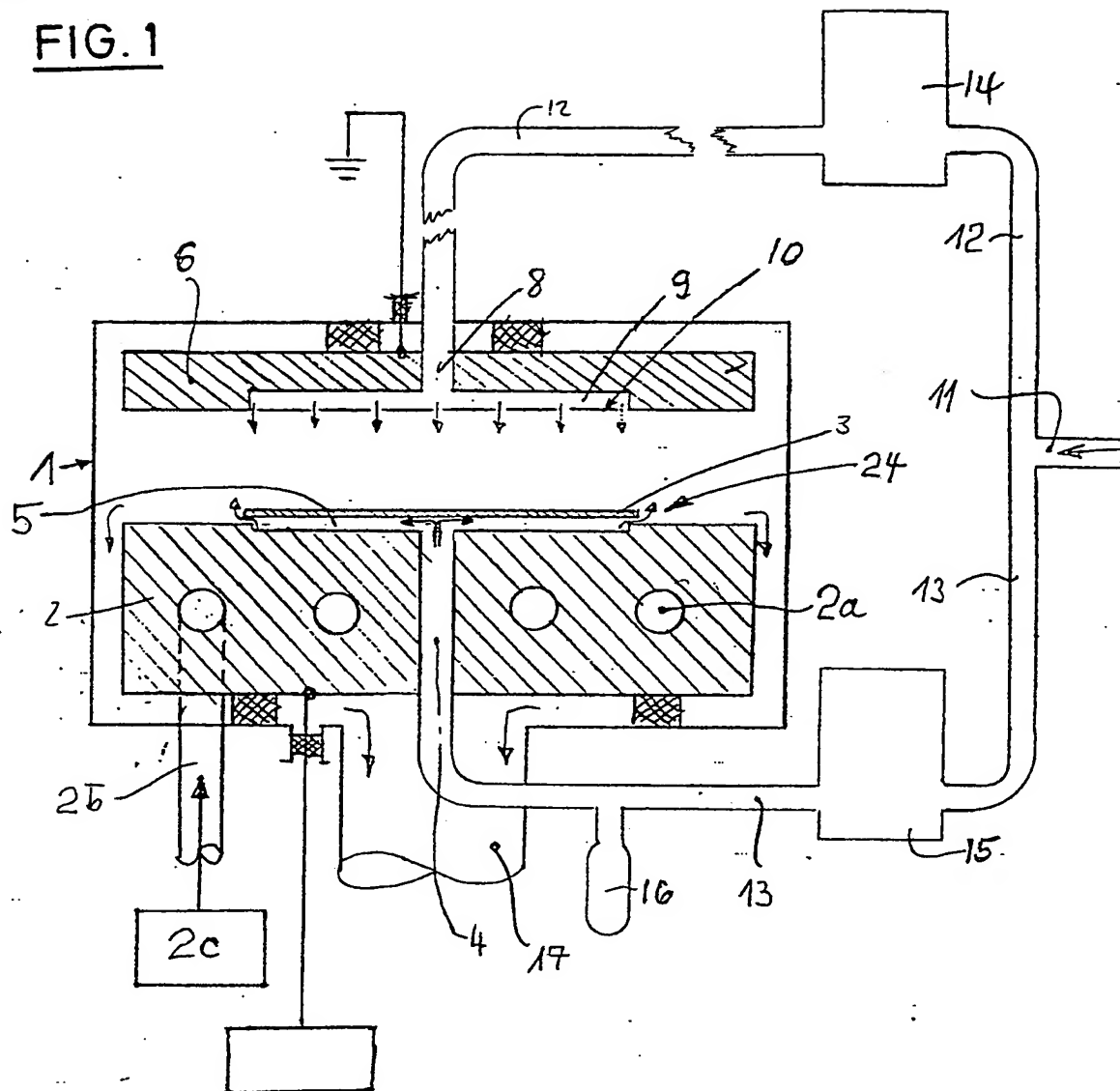


FIG. 2

